

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис)

«___» _____ 2020р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Екологічна біотехнологія та
біоенергетика»**

спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

на тему: «Утилізація відходів свиноферми з отриманням біогазу»

Виконала:

студентка IV курсу, групи БЕ-61

Літвінець Наталія Сергіївна _____

Керівник:

Доц., д.т.н.,

Козар Марина Юріївна _____

Консультант з проектування:

Проф., д.т.н, проф.,

Саблій Лариса Андріївна _____

Рецензент:

Асист., к.т.н.,

Карпенко Юрій Володимирович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ
(підпис) (ім'я, прізвище)

«__»_____ 2020р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Літвінець Наталія Сергіївна**

1. Тема проєкту «Утилізація відходів свиноферми з отриманням біогазу»
керівник проєкту Козар Марина Юріївна, к.т.н., доцент,
затверджені наказом по університету від «__»_____ 20__ р. №_____
2. Термін подання студентом проєкту _____
3. Вихідні дані до проєкту: поголів'я свиней – 2500. Необхідна вологість субстрату – 98,5%. Режим зброджування – періодичний. Спроекувати метантенк для утилізації відходів свиноферми.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; Розділ 1 Характеристика сировини, біологічного агента та біогазу; 1.1Характеристика субстрату для зброджування; 1.2Характеристика отриманого біогазу; 1.3Характеристика метаногенів; Розділ 2 Основи технологічного процесу виробництва біогазу; 2.1 Схема перебігу процесу зброджування біомаси; 2.2 Обґрунтування вибору технології (опис існуючі технології та обраної); Розділ 3 Технологічна частина; 3.1 Сировина та матеріали; 3.2 Опис технологічного процесу; 3.3 Контроль виробництва; 3.4 Матеріальний баланс; Розділ 4 Вибір і характеристика обладнання; Підбір основного та допоміжного обладнання (розрахунки); Розділ 5 Охорона праці та довкілля; Висновки; Список використаної літератури; Додаток А.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): технологічна схема (А1), апаратурна схема (А1), метантенк (А1).

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічна частина дипломного проекту	д.т.н., проф. Саблій Л.А.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Проведення літературних досліджень		
2	Характеристика сировини, біологічного агента та біогазу		
3	Проведення аналізу існуючих технологій. Обґрунтування та вибір технології.		
4	Розрахунок параметрів сировини та виходу біогазу. Розрахунок метантенка. Вибір обладнання.		
5	Розробка креслень апаратурної та технологічної схеми. Розробка креслення метантенка.		
6	Опис заходів з охорони праці та довкілля.		
7	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини		

Студент _____ Наталія ЛІТВІНЕЦЬ

(підпис)

Керівник проекту _____ Марина КОЗАР

(підпис)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з 57 аркушів пояснювальної записки, з використанням 25 літературних джерел та 3 аркушів креслень А1. Пояснювальна записка складається з вступу, п'яти розділів, що містять 4 рисунки, 4 таблиць, висновки і список літературних посилань.

В роботі обрано та обґрунтовано технологію утилізації відходів свиноферми з подальшим отриманням біогазу. В проекті наведено обґрунтування вибору технології одностадійного періодичного режиму зброджування сировини при термофільному режимі зброджування. Наведено характеристику відходів свиноферми, як сировини для утворення біогазу. Розраховано матеріальний баланс процесу, наведено та описано технологічну та апаратурну схеми виробництва біогазу, вказані точки та параметри контролю етапів процесу, охорона праці та довкілля. Обрано два метантенки об'ємом 1000 м³.

БІОГАЗ, ВІДХОДИ СВИНОФЕРМИ, УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ, МЕТАНОГЕНЕЗ, МЕТАНТЕНК, ЗБРОДЖУВАННЯ.

ABSTRACT

The diploma project consists of 57 pages of explanatory note, using 25 references and 3 sheets of drawings A1. The explanatory note consists of an introduction, five chapters containing 4 figures, 4 tables, conclusions and a list of references.

The technology of utilization of pig farm waste with subsequent production of biogas is selected and substantiated in the work. The project provides a rationale for the choice of technology of one-stage periodic mode of fermentation of raw materials in the thermophilic mode of fermentation. The characteristics of pig farm waste as a raw material for biogas production are given. The material balance of the process is calculated, the technological and equipment schemes of biogas production are given and described, the points and parameters of control of the process stages, labor protection and environment are indicated. Two 1000 m³ methane tanks were selected.

**BIOGAS, PIG FARM WASTE, WASTE DISPOSAL, METHANOGENESIS,
METHANE TANK, FERTILIZATION.**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА ТА БІОГАЗУ.....	11
1.1 Характеристика субстрату для зброджування	11
1.2 Характеристика отриманого біогазу.....	14
1.3 Характеристика метаногенів	15
РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	18
2.1 Схема перебігу процесу зброджування біомаси.....	18
2.2 Обґрунтування вибору технології (опис існуючі технології та обраної)	20
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	33
3.1 Сировина та матеріали.....	33
3.2 Опис технологічного процесу.....	34
3.3 Контроль виробництва.....	36
3.4 Матеріальний баланс.....	39
РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ.....	41
Підбір основного та допоміжного обладнання (розрахунки).....	41
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	47
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	52
ДОДАТОК А.....	55

					ЕКБ.БЕ6114.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Літвінець Н.С.						
Конс.		Козар М.Ю.					6	57
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського,ФБТ		
Затверд.								

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВРХ – велика рогата худоба;

БУ – біогазова установка;

ЛЖК – леткі жирні кислоти;

pH – водневий показник;

ГВРХ – гній великої рогатої худоби;

					ЕКБ.БЕ6114.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік умовних позначень та скорочень	Стадія	Арк.	Акрушів
Розроб.		Літвінець Н.С.						
Конс.		Козар М.Ю.					7	57
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Затверд.								

ВСТУП

В Україні гостро стоїть проблема з утворення великої кількості відходів на промислових фермах, яка потребує вирішення. Найбільшу шкоду навколишньому середовищу завдають органічні відходи тваринництва і особливо гній. Відходи тваринництва спричиняють значне навантаження на навколишнє природне середовище. Їх утилізація має забезпечити виконання таких умов: зниження емісії небезпечних газів (метану, сірководню тощо), в тому числі нейтралізацію неприємних запахів, запобігання зараженню тварин і людей збудниками інфекційних хвороб, попередження забруднення ґрунтів і природних вод.

За класичною технологією гнойові відходи найчастіше утилізують при використанні звичайних відстійників та лагун, проте гній може потрапляти у ґрунтові води, та викликати захворювання людей та тварин. Як найбільш перспективний метод переробки рідкого гною тваринних комплексів рекомендується метанове бродіння. Однією з переваг використання процесу метанового бродіння є те, що він виконує очисну роль та знижує хімічне та бактеріологічне забруднення ґрунту, води, повітря та переробляє органічні відходи у високоякісні органічні добрива. Результатом бродіння відходів є біогаз. Він може бути використаний для потреб підприємств. Біогазова установка займає площу меншу, ніж лагуни для зберігання гною та нейтралізує неприємні запахи [1].

Гній та послід є побічними відходами тваринництва, які можна розглядати не тільки як шкідливі відходи, але як і біомасу, яку можна використовувати для виробництва енергії. Відходи тваринництва утворюються постійно, по всій території України, в незалежності від ландшафтних або кліматичних особливостей. Отже, використання гнойової

					ЕКБ.БЕ6114.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Стадія	Арк.	Аркушів
Розроб.		Літвінець Н.С.						
Конс.		Козар М.Ю.					8	57
						КПІ ім. Ігоря Сікорського,ФБТ		
Керів.		Козар М.Ю.						
Затверд.								

біомаси можливе по всій території України. Завдяки постійному доступу до сировини, біогаз можна виробляти впродовж всього року, незалежно від погодних умов.

Застосування біогазу надає багато можливостей для децентралізованого енергозабезпечення. Одразу після утворення біогаз можна спалити для виробництва електроенергії та тепла, або ж довести до якості біометану, та подавати до газотранспортної мережі. Крім цього, біометан можна використовувати як паливе в автомобілях на природньому газі.

Крім того, розповсюдження технологій анаеробної переробки відходів тваринництва з подальшим утворенням енергії сприятиме виконанню Україною міжнародних зобов'язань, оскільки Україна є членом Європейського Енергетичного Співтовариства. У рамках договору Україна має впровадити на рівні держави певні директиви та регламенти, зокрема, в галузі сприяння відновлюваних джерел енергії.

Зважаючи на вищесказане актуальним питанням є утилізації відходів тваринництва з подальшим утворенням біогазу.

Мета: обґрунтування та вибір технології утилізації відходів свиноферми з подальшим утворенням біогазу, як шлях вирішення екологічних проблем довкілля.

Завдання проекту:

- 1.Охарактеризувати відходи свиноферми як сировину для отримання біогазу;
- 2.Провести аналіз існуючих технологій утилізації відходів свиноферми та обґрунтувати вибір технології виробництва біогазу з відходів свиней;
- 3.Розглянути біохімічні перетворення, що відбуваються під час процесу метанового зброджування відходів свиней;
- 4.Розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біогазу з відходів свиноферми; представити креслення апаратурної та технологічної схем;

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.Розрахувати основні параметри та обрати метантенк, для проведення зброджування; розрахувати матеріальний баланс процесу виробництва біогазу; розробити креслення метантенка;

6.Навести заходи з охорони праці на виробництві біогазу та охорони навколишнього середовища.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА ТА БІОГАЗУ

1.1 Характеристика субстрату для зброджування

Одним із перспективних напрямів для України є утилізація відходів тваринництва, а саме – гнойової біомаси ВРХ, свиней та посліду птахів- з подальшим отриманням біогазу, який потім можна використовувати для отримання енергії [1].

В якості сировини для переробки в анаеробних умовах можуть бути використані різні відходи сільськогосподарського виробництва, які містять органічну речовину. Найбільш придатними у цьому відношенні є гнійні стоки тваринництва. Кількість і властивість посліду залежать від віку, раціону годівлі і способу утримання тварин [2]. Вважається, що відходи тваринництва належать до субстратів, які найбільш доцільно використовувати для виробництва біогазу (як окремий субстрат або в поєднанні з іншими субстратами). На відміну від інших видів біомаси, таких, як енергетичні культури, гній та послід утворюються як побічні відходи тваринництва, які потребують утилізації в екологічно безпечний спосіб. Крім того, гній ідеально підходить як субстрат, бо легко змішується з іншою доступною сировиною, такою, як силос окремих рослин, зокрема силос кукурудзи (стебел) та ін [1].

Гній великої рогатої худоби (ВРХ) вважається найбільш підходящою сировиною для переробки в біогазових установках, адже метанотворюючі бактерії вже містяться в травному тракті ВРХ. Проте зазвичай гнойова маса змішана з підстилкою, що може спровокувати утворення осадів і кірки. На відміну від великої рогатої худоби свині зазвичай утримуються без солом'яної підстилки, що виключає додаткові стадії з процесу підготовки сировини.

Варто зазначити, що гній та послід містять значний потенціал для виро-

					ЕКБ.БЕ6114.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА ТА БІОГАЗУ	Старія	Арк.	Акрушів
Розроб.		Літвінець Н.С.						
Конс.		Козар М.Ю.					11	57
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського,ФБТ		
Затверд.								

бництва біогазу. Так, біогазові технології найкраще підходять для утилізації та переробки гною, завдяки здатності даного типу сировини до перекачування, причому рідкий гній свиней має дещо вищий показник виходу біогазу.

Відповідно, за період 2000-2017 років поголів'я свиней зменшилось на 20,1% – до 6,11 млн. голів. Проте, виробництво свинини за цей період збільшилось на 8,9% – до 735,9 тис. т в 2017 р. Частка свинини в загальній структурі виробництва м'яса зменшилась від 40,6% в 2000 р. до 31,7% в 2017 р. В Україні за 2017 р. поголів'я свиней становить 6,11 млн. У перерахунку на відходи, 128 млн куб. м гною свиней. Відповідно потенціал виробництва біогазу з субстратів свиней у перерахунку на природний газ становить в межах 116-583 млн кубометрів, що в перерахунку на умовне паливо – 133-670 тис. т, при середній ціні природного газу 8085 грн/тис. куб. м галузь додатково отримає від 0,9 до 5,0 млрд грн [3].

Кількість і властивості гнойової біомаси залежать від віку, способів утримання та годівлі тварин. Також значний вплив на кількість стоків тваринницьких ферм мають підстилкові матеріали, кількість технологічної води, залишки кормів і сторонні домішки. На сучасних тваринницьких фермах велику кількість води використовують для миття та дезінфекції технологічного обладнання, підлоги. Свиней в більшості утримують без підстилки, тому у більшості випадків використовують гідравлічні системи видалення гною, для забезпечення надійної роботи яких також потрібна вода. Технологічна вода поступає у систему видалення гною та впливає як на кількість, так і на якість відходів [4].

Разом з відходами з тваринницьких приміщень треба також видаляти деяку кількість корму – це малопридатні в їжі домішки, а також корма, які були кинуті з годівниць і затоптані тваринами. Фракційний склад твердих часточок різноманітний і залежить від віку, раціону свиней, і складає близько 70-75% від усієї маси сухої речовини.

При утриманні свиней в загонах без вимощеного покриття, можна використовувати лише гній, який повинен бути розведений з водою для

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягнення правильної консистенції та вологості для переробки. Після розведення водою гній повинен відстоятись для того, щоб присутні у ньому пісок і дрібне каміння осіло і не потрапляло в реактор, адже тверді частинки обумовлюють утворення осаду або, як у випадку з більш легкими матеріалами, піднімаються на поверхню і утворюють кірку, що призводить до зменшення газоутворення [2].

Одним із головних факторів є вологість посліду. Вологість сировини, що завантажується в реактор, повинна бути не менше 85% в зимню пору року і 92% в літню пору року. Для досягнення оптимальної вологості сировини гній зазвичай розбавляють гарячою водою. При збільшенні вологості знижується в'язкість посліду і матеріал стає більш рухливим та інтенсивніше розтікається. Крім того гнойовій біомасі характерна порівняно висока буферна ємність, що дозволяє попереджати стрімкі зміни рН. Оптимальне значення рН коливається, залежно від виду сировини, від 6,5 до 8,5 [4].

Значним впливом на вихід біогазу є пропорція вуглеводів, білків та жирів, необхідних для метаболізму бактерій, що безпосередньо беруть участь у процесі метанового бродіння. Помітно знижує газовиділення присутність лігніну та клітковини, так як клітковина розкладається дуже повільно, а лігнін ж майже зовсім не розкладається [2].

Окрім цього, важливим фактором у метановому бродінні є співвідношення C:N у субстраті. Якщо співвідношення C:N надто велике, то нестача азоту буде фактором, який обмежує процес утворення метану. Якщо ж вказане співвідношення надто мале, то утвориться велика кількість аміаку, що буде негативно впливати на метаногенеруючі бактерії. Експерименти показують, що вихід біогазу буде найкращим при співвідношенні карбону та нітрогену в межах від 10 до 20, де оптимальні значення коливається в залежності від типу сировини [7].

Ступінь розкладу гнойової біомаси у більшій мірі залежить від складу сировини та від того, скільки в ній біонерозкладної фракції. Так біорозкладання свинячого гною може сягати 90% в порівнянні з ВРХ – 60-70%.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для даного виду сировини, що переробляється в умовах мезофільного режиму, час, за який виділяється найбільша частина біогазу, дорівнює близько 9-12 дням [5].

В таблиці 1.1 наведено огляд даних про фізико-хімічний склад гнойофих відходів свиноферми.

Таблиця 1.1 Фізико-хімічні характеристики гнойових відходів свиноферми

Показник	Розмірність	Значення показника	
		Найменше	Найбільше
Зольність	% до СР	15	16
Вміст СР	% до маси	0,6	12
Азот N	% до маси	3,8	10,3
Співвідношення вуглецю і азоту C / N		6,2	12,5
Фосфор	% до маси	1,9	2,5
Калій	% до маси	1,4	3,1
Целюлоза	% до маси	19	21,4
Леткі жирні кислоти (ЛЖК)	г/л	1,53	11,93

Виходячи з даних з таблиці 1.1 можна побачити, що гнойова маса свиней придатна для утилізації з подальшим отриманням біогазу. Проте варто зауважити, що дані значення можуть змінюватись в залежності від способів годівлі, утримання та видалення гнойою.

Шлам, який утворюється, після процесу метанового бродіння містить велику кількість поживних речовин і може бути використаний у якості добрив або кормових добавок.

1.2 Характеристика отриманого біогазу

Біогаз – це різновид біопалива, який є кінцевим продуктом анаеробної ферментації, і який технологічними процесами доведений до характеристик природного газу згідно нормативно-технічного документа ДСТУ ISO 13443:2015 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення». Отриманий біогаз має відповідати вимогам визначеним у наступних документах: ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги і методи контролю», ДСТУ 7509:2014 «Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб», ДСТУ 4516: 2006 «Поновлювані джерела енергії. Установки біогазові.» [11] .

Склад біогазу нестабільний і залежить від багатьох факторів. В залежності від цього, відбувається виділення біогазу, який складається з 40-80% метану, 20-60% вуглекислого газу, біля 1% сірководню і невелику кількість азоту та водню. Теплотворна здатність одного кубометра виробленого газу складає залежно від кількості метану – 20-25 Мдж/м³ . Оскільки горюча частина біогазу складається з метану, його зараховують до сімейства природних газів але, як правило, поступається їх теплотворним властивостям. Проте після технологічної сепарації він може навіть перевершувати теплотворні властивості природного газу. Чистий біометан не володіє запахом і кольором [9].

Біогаз може бути використаний:

- Очищений біогаз, як паливо для двигунів внутрішнього згорання;
- Біометан можна подавати в загальну газорозподільну мережу, і направлятися до споживачів та енергонакопичувачів, або ж може спалюватись в котельні безпосередньо на підприємстві;
- В якості палива на місці його виробництва, з подальшим отриманням енергії.

1.3 Характеристика метаногенів

Близько 50 видів із 17 родів бактерій, що традиційно розглядають як групу метаноутворюючих бактерій та відносять до археїв, здатні синтезувати

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метан. Біогаз, отриманий за допомогою метаногенних бактерій, є висококалорійним паливом, економічна вигідність якого протягом останніх років неодноразово доведена і полягає як у невисокій собівартості продукту, так і у можливості його відновлення як природного джерела енергії [1, 2]. Метаногени тривалий час залишалися мало дослідженими, оскільки вони складно культивуються та мають високу кисневу чутливість. У процесі можуть брати участь 6 основних груп метанових бактерій, що відрізняються морфологічно: *Methanosaeta*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanotrix* та *Methanosarcina* [6].

Оскільки біогаз практично отримують із складних органічних речовин (целюлоза, крохмаль, білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти), то для метаноутворення найпоширенішим є використання багатокомпонентних мікробних асоціацій. До їх складу окрім метаногенів входять мікроорганізми, які перетворюють органічні субстрати на метанол, мурашину та оцтові кислоти, водень, карбон діоксид тощо. В асоціації традиційно наявні мікроорганізми-деструктори, що здійснюють гідроліз складної органічної маси з утворенням органічних кислот (масляної, пропіонової, молочної), а також нижчих спиртів, амоніаку, водню; ацетогени, що перетворюють кислоти на оцтову кислоту, водень та карбон оксиди; метаногени, що відновлюють воднем кислоти, спирти і карбон оксиди до метану.

В основі анаеробного бродіння закладені біологічні процеси бродіння та розкладання органічних речовин під впливом метаногенеруючих бактерій в анаеробних умовах, які характеризуються відсутністю вільного кисню, високої вологості, певного рівня рН, і температури для створення оптимальних умов середовища для життя та розмноження бактерій, 15-20 °С для психофільних, від 30 до 40 °С для мезофільних і 50-70°С для термофільних бактерій [7]. Метаногенні археї являються одними з самих давніх живих організмів на планеті, вони виникли в період від трьох до чотирьох мільярдів років тому, задовго до того як утворилась атмосфера в звичному нам вигляді. За цієї

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

причини ці мікроорганізми і сьогодні потребують середовище, в якому відсутній кисень.

За оптимумом температур археї умовно розділяють на такі три групи: психофільні, мезофільні та термофільні мікроорганізми. Температурний оптимум для психофільних мікроорганізмів знаходиться в діапазоні $< 25^{\circ}\text{C}$. При таких температурах немає необхідності в нагріванні субстрату або реактора, але продуктивність розкладу і об'єм біогазу являється незначним. Тому цей температурний режим не є рентабельним. Більша частина відомих метаногенів має оптимум росту в мезофільному ($25-40^{\circ}\text{C}$) та термофільному ($40-60^{\circ}\text{C}$) діапазонах [7]. Практика показала, що переходи між температурними діапазонами являються плавними і мікроорганізмам шкодить, в першу чергу, швидка зміна температури, і навпаки, метаногени можуть у випадку плавної зміни температури пристосуватися до різних її рівнів. Тому для стабільності процесу важлива не так абсолютна температура, як її сталість.

Важливою умовою для життєдіяльності мікроорганізмів є слабо-лужна реакція зброджуваного середовища, при цьому оптимальним вважають рН на рівні 6-8, проте найкращим значенням вважається 7-7,5 рН, хоча ці бактерії можуть і працювати при рН = 9-10, якщо час їх перебування менше 10 діб.

Джерелом вуглецю є ацетат-іон та вуглекислий газ, джерелом енергії – водень, азоту – амоній, сірки – сульфіді, цистеїн і сульфати. Для нормальної життєдіяльності бактерій їх необхідно забезпечувати потрібною кількістю макро- та мікроелементів [10].

У процесі метанового зброджування між організмами також існує ще й чисто фізичний зв'язок. Гідролітичним бактеріям необхідно мати тісний зв'язок з твердим субстратом, що гідролізується; при порушенні цього контакту відбувається послаблення їх активності. Крім того, у гетерофазному середовищі має значення концентрація субстратів навколо клітин, тому метаногени повинні розвиватися у відсутності турбулентного перемішування. Це потрібно враховувати при конструюванні метантенків [10].

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

2.1 Схема перебігу процесу зброджування біомаси

Біогаз утворюється в ході біологічного процесу, без доступу кисню з органічного субстрату утворюється газова суміш, тобто біогаз. При цьому мікроорганізми майже повністю перетворюють біомасу на біогаз. Додатково утворюються певна кількість енергії (тепла) і нової біомаси.

Процес утворення біогазу можна розділити на чотири послідовні етапи (рис. 2.1), а саме: гідроліз, кислотогенез, ацетогенез та метаногенез.

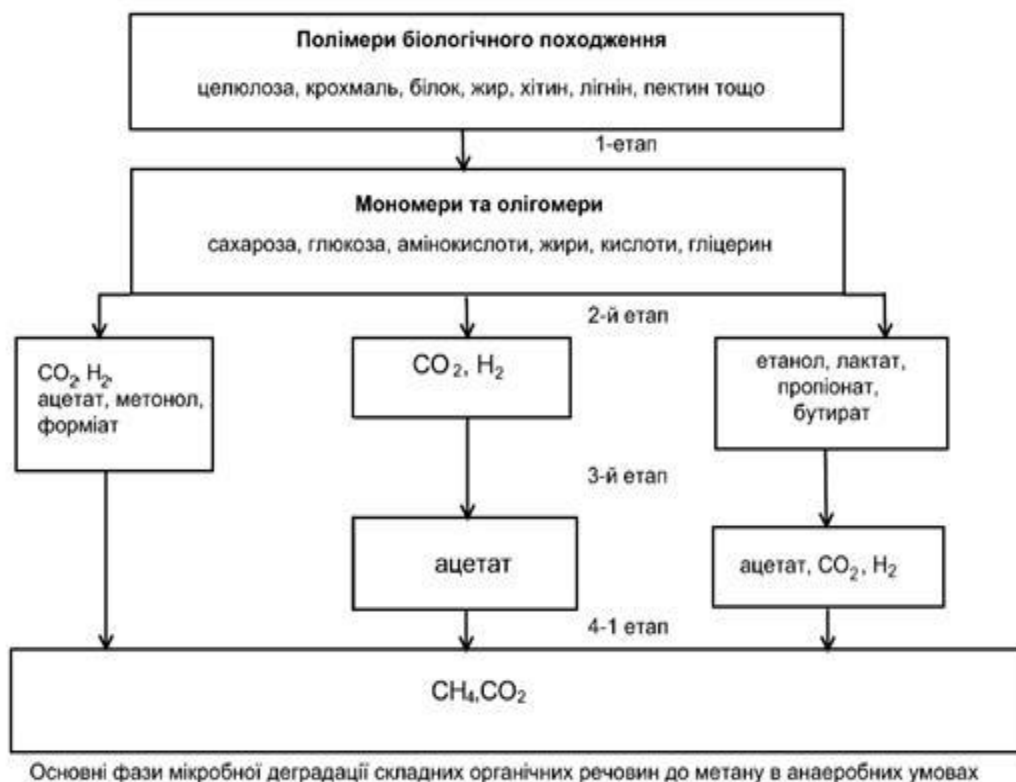


Рис. 2.1. Схема процесу метанового бродіння [12]

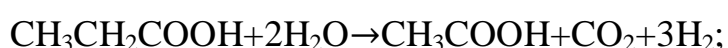
На першому етапі «гідроліз», складні з'єднання вихідного матеріалу (білки, жири, вуглеводи) розщепляються до більш простих органічних з'єднань (амінокислоти, цукри, жирні кислоти). Першу фазу забезпечують факультета-

					ЕКБ.БЕ6114.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Літвінець Н.С.			РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ	Стадія	Арк.
Конс.		Козар М.Ю.					57
						18	
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

тивні та облигатні анаероби, такі як: *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*. Ця група бактерій, також відповідає за видалення невеликої кількості кисню, що вводиться при завантаженні реактора. Реакція відбувається із оптимумом рН 6,5-7,6. Бактерії виділяють у середовище екзоферменти, за допомогою яких здійснюється гідроліз і тверді нерозчинні сполуки переходять у розчинний стан. Загальна швидкість процесу лімітується саме стадією гідролізу, оскільки наступні стадії не можуть розпочатися, поки не відбудеться гідроліз. В цій фазі енергія тільки витрачається.

Утворення енергії відбувається на другій стадії, яка здійснюється тією ж групою мікроорганізмів, яка приймає участь у першій фазі. Під час кислотогенезу цукри, довголанцюгові жирні кислоти і амінокислоти, що утворились в результаті гідролізу, використовуються як субстрат для мікроорганізмів, які перетворюють їх на органічні кислоти, такі як оцтова, пропіонова, масляна і інші коротколанцюгові жирні кислоти, спирти, H_2 і CO_2 . Кислотогенез, як правило, найшвидша стадія анаеробного перетворення складних органічних речовин.

Ацетогенна стадія здійснюється двома групами ацетогенних бактерій. Одні утворюють оцтову кислоту з подальшим виділенням водню з продуктів попередньої стадії кислотогенезу [24].

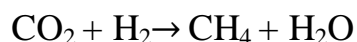
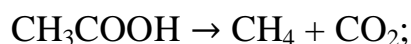


Інші утворюють оцтову кислоту шляхом використання водню для відновлення CO_2 .



Отже, на ацетогенній стадії бродіння утворюються основні безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота. Остаточне бактеріальне перетворення органічних речовин в CO_2 і CH_4 здійснюється на четвертому етапі процесу (метанове бродіння) [8]. На четвертій стадії, метаногенній, метанові бактерії утворюють метан двома шляхами – розщепленням оцтової кислоти або шляхом відновлення вуглекислоти воднем [24].

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



При першій реакції утворюється близько 70% метану, а при другій – 30%.

Утворення метану – останній етап ланцюга анаеробної деструкції органічного матеріалу. Здійснюється синтез метану специфічною групою бактерій.

Таким чином, анаеробний розпад органічних речовин здійснюється цілою асоціацією організмів. Первинні анаероби здійснюють стадії гідролізу та кислотогенезу, вторинні – ацетогенез і метаногенез.

2.2 Обґрунтування вибору технології

В Україні велика кількість ферм з розведення свиней забезпечує м'ясними продуктами місцевий та регіональні ринки. Все більше й більше операторів ринку інвестують у м'ясні підприємства, і тому дуже важливим стає моніторинг поводження з гноєм.

Найголовнішою проблемою у свиначстві є утилізація відходів життєдіяльності свиней. Їдять свині багато, і відходів життєдіяльності виділяють теж велику кількість: 5-8 кг на добу, тобто 2-3 тонн на рік.

Через наявність великої маси гною створюються небезпечні, антисанітарні умови не тільки безпосередньо на території господарства, а й на значній відстані від нього, що загрожує забрудненню ґрунту, водних джерел і повітряного басейну [1].

Гній (особливо свиней) може бути причиною виникнення інвазійних захворювань серед їх збудників особливого значення набувають так звані геогельмінти, цикл розвитку яких відбувається у НПС (у ґрунті). Тому не виключається зараження людей і тварин при обробі забрудненого гною ґрунту, при вживанні в їжу або на корм рослин, зібраних з таких земельних ділянок або сільськогосподарських угідь. Так, в 1 л гнойових стічних вод свинокомплексів може міститися до 430 яєць та зародків гельмінтів.

В залежності від технології утримання тварин можуть застосовуватись різні способи знезараження гною. Через це при будівництві свиноферми

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потрібно вирішувати питання про відведення достатньої площі земель, які зможуть поглинути масу гною, яка утворюється на даному об'єкті. Проте вносити гній в ґрунт можна тільки після його попереднього знезараження та обробки.

Біологічні методи знезараження гною ґрунтуються на окисленні органічних речовин та пригніченні або знищенні патогенних мікроорганізмів термофільною мікрофлорою [14]. Основними методами біологічного знезараження та обробки гнойових відходів є:

- переробка свинячого гною на добрива, компостування;
- зберігання в лагунах;
- анаеробно-метанове зброджування.

Опис існуючих технологій

В Україні не має жорстких вимог до утилізації тваринних відходів. Гній або послід може накопичуватись та зберігатись у спеціальних сховищах з можливим подальшим компостуванням, піддаватись анаеробній ферментації для одержання біогазу, фізико-хімічній або механіко-біологічній обробці.

На практиці ж, на більшості Українських фермах використовується саме варіант накопичення та зберігання відходів [1]. Після цього гній або послід вноситься на поля як добриво. Таке поводження з відходами припустиме для ферм з малим або середнім обсягом утворення відходів, за дотримання правил безпеки та усіх екологічних норм гній та послід є цінним органічним добривом. Проте в Україні близько 50% ферм – промислові, і цей спосіб утилізації відходів не є доцільним. При зберіганні великої кількості відходів у лагунах можливе неконтрольоване витікання гною у навколишнє середовище. Крім того гній або послід можуть вноситись у ґрунт у ненормованих кількостях, що перевищують норму. Це може привести до перенасичення ґрунту, потрапляння у підземні та поверхневі води. Тим не менш, цей спосіб є доволі популярним в усьому світі. Типова технологічна схема представлена на рис 2.1. Екологічні проблеми, пов'язані з утворенням гною, спонукають до пошуку нових методів

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

їх переробки. Метою є переробка відходів у матеріал, менш шкідливий або який практично не загрожує навколишньому середовищу.

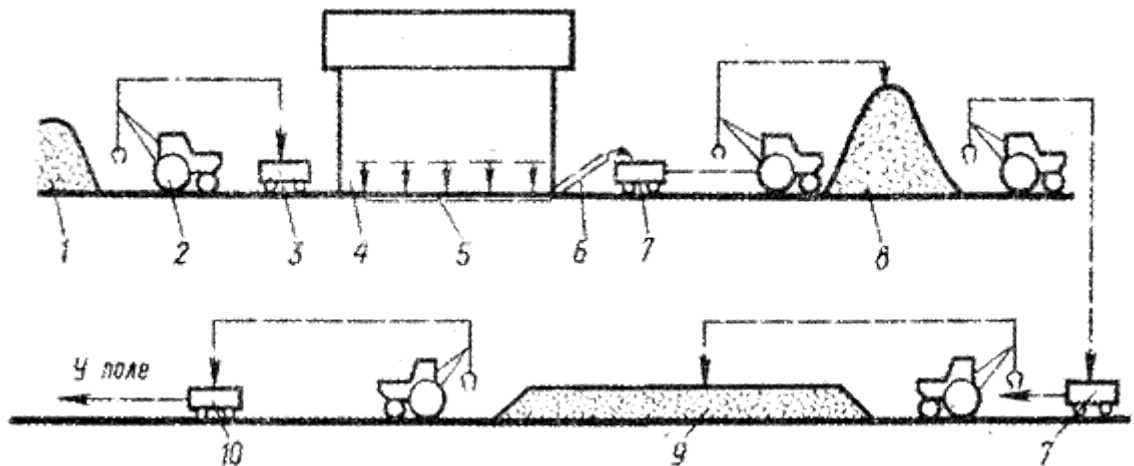


Рис.2.2 Типова технологічна схема утилізації гнойових відходів за допомогою лагун [13]

- 1 – склад підстилки; 2 – навантажувач; 3 – розкидач підстилки;
 4 – тваринницьке приміщення; 5 – транспортер для видалення гною;
 6 – похилий транспортер навантажувач; 7 – транспортний засіб;
 8 – карантинно-компостний майданчик; 9 – лагуна; 10 – розкидач гною.

Продукти переробки гною - добрива. Спочатку рідкий гній просто зберігається для подальшого використання як добрива. Пізніше корисність рідкого гною збільшують шляхом компостування його з додаванням органічних матеріалів, здатних поглинати рідку фракцію відходів. Найпоширенішим матеріалом для цього був торф, оскільки він був відносно дешевим [13]. Переробка рідкого гною в добриво також включала поділ його на тверді та рідкі фракції. Це відбувається за рахунок механічного поділу або осадження. Розділення рідкого гною та подальші способи його обробки постійно змінюються та вдосконалюються. Найбільш широко застосовувані методи механічного поділу включають пресування, центрифугування та фільтрацію. Хімічні та біохімічні перетворення, спричинені сепараційними операціями, роблять відокремлені фракції менш шкідливими для навколишнього середовища. Добриво, отримане з тваринних відходів, може мати різні форми, а також бути без патогенних організмів в ньому і неприємного запаху. Процес виробництва заснований на повному розділенні зважених речовин і розчинених

речовин, запобігаючи тим самим викиди газів. Добриво отримують шляхом змішування відходів з флокулянтами, фосфатами, та збагаченого мікроелементами ґрунту. Процес проводиться при температурі, близькій до точки спалювання, щоб зробити добриво без патогенних організмів та запаху. Цей спосіб переробки відходів дозволяє видалити 90% патогенних мікробів, що містяться в них [13, 15].

Екологічно чистим та економічно альтернативним методом переробки твердих органічних відходів є компостування. Продукти цього процесу можуть використовуватися як добриво для поліпшення ґрунту, аерації ґрунту, посилення росту рослин та гальмування росту патогенів рослин. Це, однак, стосується лише так званих стабілізованих продуктів, оскільки обробка ґрунту "сирим компостом" може призвести до фітотоксичності та несприятливих екологічних наслідків. В основі компостування лежить змішування гнойових стоків з матеріалами, котрі покращують надходження повітря – торфом, тирсою, соломною та землею [15]. В подальшому їх складають у вигляд кагатів на спеціально відведених майданчиках. Знешкодження при цьому досягається завдяки розмноженню термофільних бактерій, які створюють температуру близько 50-60°C. Знезараження при компостуванні триває близько шести місяців в холодні пори року, або близько трьох в теплі періоди [13]. Типова технологічна схема утилізації відходів за допомогою компостування представлена на рисунку 2.3.

Під дією високих температур гинуть яйця і зародки гельмінтів, личинки комах та усі форми вегетативних мікроорганізмів [14]. Після теплової обробки гнойову масу можна використовувати як цінне органічне добриво для рослин.

Одним із альтернативних методів утилізації відходів свиноферми є анаеробне зброджування з подальшим утворенням біогазу, що дасть вирішити проблеми з відходами тваринництва, а саме зменшити викиди в атмосферу та зменшити ризики забруднення ґрунтів та водойм. Одночасно ця технологія може бути використана для переробки стоків побутових каналізацій та індивідуальних господарств.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

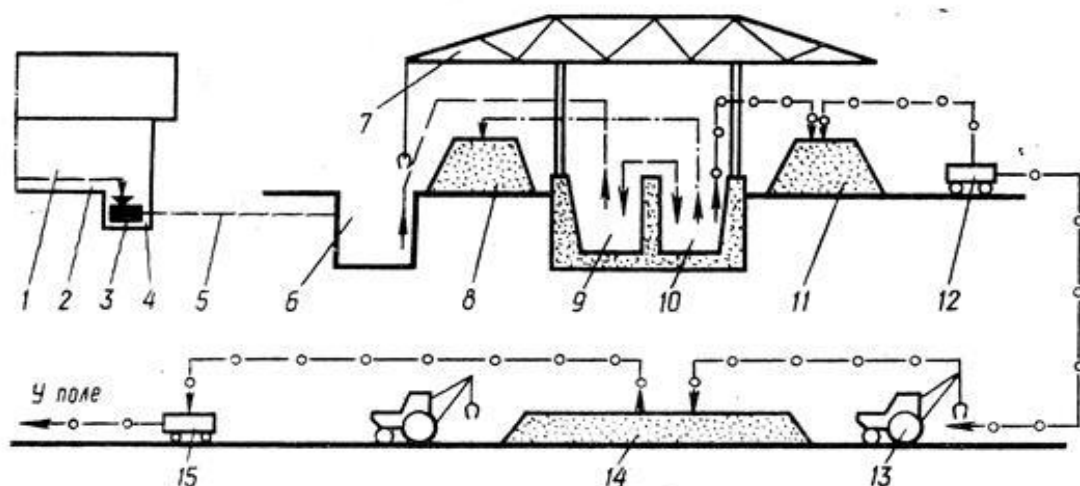


Рис.2.3 Технологічна схема утилізації рідких відходів за допомогою компостування [14]

- 1 – тваринницьке приміщення; 2 – транспортер для видалення гною; 3 – насосна установка; 4 – приямок; 5 – гноєпровід; 6 – гноєзбірник; 7 – рухомий кран;
 8 – склад для зберігання торфу; 9 – карантинна секція гноєсховища;
 10 – секція приготування суміші; 11 – майданчик компостування;
 12 – транспортний засіб; 13 – навантажувач; 14 – сховище для компостування;
 15 – розкидач органічних добрив.

Метанова ферментація – це процес перетворення біомаси на енергію анаеробним розкладом органічних компонентів субстрату з утворенням біогазу. В процесі метанової ферментації виділяють три головні етапи продукування біогазу: гідроліз, окиснення і безпосереднє утворення метану. У цьому процесі бере участь безліч мікроорганізмів головним з яких є метаноутворюючі бактерії. Продуктом зброджування є біогаз, що являє собою суміш метану і вуглекислого газу [16].

Метанова ферментація здійснюється в герметичній ємності – метантанку зазвичай циліндричної форми горизонтального або вертикального розташування. Для ефективного бродіння в порожнині реактора підтримується стала температура відповідно прийнятого режиму і здійснюється періодичне перемішування зброджуваної суміші [10].

Доцільність метанового зброджування полягає у збереженні в органічній або амонійній формі практично всього азоту, який міститься у вихідній

сировині. Це дає можливість використанні шламу, що перебродив у якості добрива. Шлам, який містить цінні поживні речовини, переробляють на кормові добавки та використовують при годівлі ВРХ, свиней, птиці та овець. Осад, що перебродив часто використовують для вирощування водоростей. У мікробіологічній біомасі перебродженого гною міститься велика кількість незамінних амінокислот та вітамінів групи В, що обумовлює можливість його застосування для отримання білково-вітамінних харчових добавок [17]. Принципова технологічна схема процесу утилізації відходів на основі метанового зброджування наведена на рисунку 2.4.

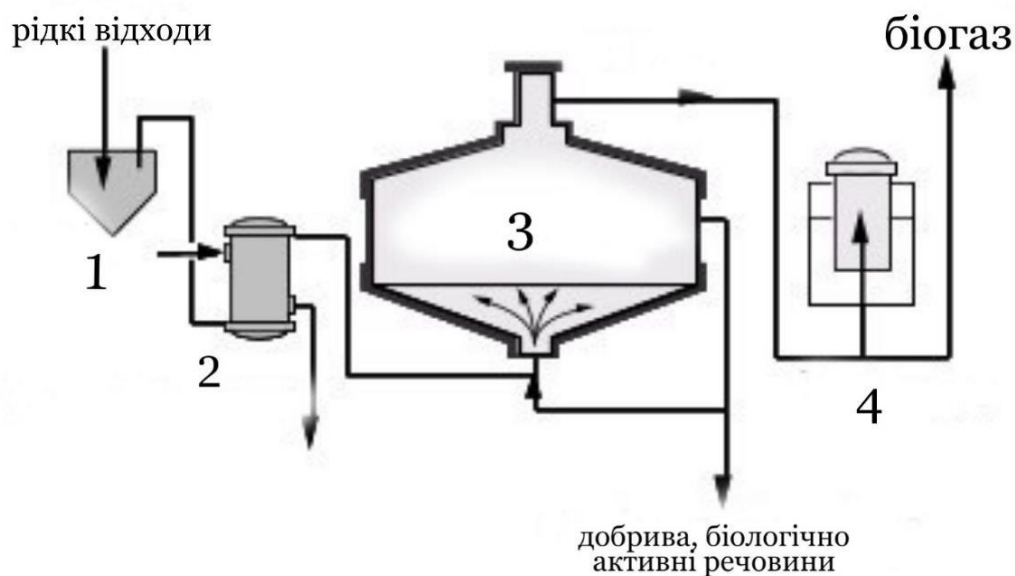


Рис.2.4 Принципова технологічна схема утилізації відходів на основі метанового зброджування [15]

1-Збірник декантатор;2-теплообмінник;3-метантенк;4-газгольдер.

Опис обраної технології

Існує три основні напрямки обробки і використання гнійних стічних вод: утилізація на земельних полях зрошення, компостування, довготривале зберігання у лагунах і комплексна переробка з отриманням вторинних кормових та енергетичних ресурсів.

Як найбільш перспективний метод переробки рідкого гною тваринних комплексів рекомендується метанове бродіння, що забезпечує обеззаражування, дегельмінтацію та як альтернативне джерело енергії, необхідної для очисних робіт.

При використанні звичайних відстійників та лагун фільтрат може потрапляти у ґрунтові води, та викликати захворювання людей та тварин. Однією з переваг використання процесу метанового бродіння є те, що він виконує очисну роль та знижує хімічне та бактеріологічне забруднення ґрунту, води, повітря й переробляє органічні відходи на високоякісні органічні добрива. Результатом бродіння відходів є біогаз. Він може бути використаний для потреб підприємств. Біогазова установка займає меншу площу, ніж лагуни для зберігання гною та нейтралізує неприємні запахи [1].

Суміш, що утворилася переважно складається з метану (50-60%) і вуглекислого газу (25-50%). Разом з тим в біогазі також містяться в незначних кількостях водень, сірководень, аміак та інші гази. Варто зазначити, що склад біогазу може змінюватись в залежності від сировини, технологічного виконання та технології ферментації.

Процес виробництва біогазу може бути розділений на три стадії: гідроліз, окиснення і утворення метану.

Першим етапом є гідроліз. На цьому етапі органічна речовина ферментується позаклітинними ферментами мікроорганізмів, такими як: амілаза, протеаза і ліпаза. Бактерії розкладають довгі ланцюжки складних вуглеводів, протеїни та ліпіди – в мономери [18].

На другому етапі, який називається «зброджування», кислотопродуючі бактерії розщеплюють складні органічні сполуки у більш прості. При цьому утворюються первинні продукти бродіння – леткі жирні кислоти, водень, окис вуглецю, оцтова та мурашина кислоти, нижчі спирти та ін. Ці речовини є джерелом живлення для метаногенних бактерій, що перетворюють органічні кислоти в метан. На третьому етапі відбувається продукування метану метаноутворюючими бактеріями, які розкладають сполуки з низькою

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

молекулярною масою. Вони утилізують водень, вуглекислоту і оцтову кислоту. Метаноутворюючі бактерії дуже чутливі до змін навколишнього середовища, тому від умов, які створюються для життєдіяльності метаногенів, залежить вихід біогазу [16].

Для початку процесу зброджування потрібно забезпечити такі умови:

- дотримання температурного режиму;
- підтримка анаеробних умов;
- наявність поживних речовин для бактерій;
- дотримання рН;
- вибір терміну тривалості зброджування і своєчасне завантаження і вивантаження сировини;
- регулярне перемішування;
- забезпечення достатньої вологості сировини;
- відсутність інгібіторів процесу.

Дотримання температурного режиму

В залежності від оптимумів температур організми, які беруть участь в процесі розкладу, розділяють на три групи [13]. Розрізняють психофільні, мезофільні та термофільні мікроорганізми. Слід зауважити, що мезофільний режим вимагає менше затрат тепла, проте розпад органічних речовин при такій температурі відбувається повільніше і не в повному обсязі. Термофільний режим переробки сировини вимагає більше затрат тепла, має вищу швидкість розкладу та вищий вихід біогазу, проте цей режим більш складний для реалізації та контролю. Якщо ж температура біомаси 15-25°C, вихід біогазу буде дуже низький або буде непропорційно збільшуватися. Для різних субстратів різний оптимум температур [9]. Переважна частина мікроорганізмів має оптимум росту в мезофільному діапазоні температур від 37 до 42°C.

Установки, які працюють в мезофільному діапазоні температур, більш гироко розповсюджені на практиці, так як в цьому температурному діапазоні досягаються відносно великі об'єми отримання біогазу і хороша стабільність.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підтримка анаеробних умов

Метаногенні мікроорганізми потребують в середовищі, в якій відсутній кисень. Більшість з цих видів гине від незначної кількості кисню. Але, як правило, попадання кисню в реактор не вдається повністю запобігти. Причина того, що метаногенні організми не одразу зменшують свою активність, заключається у тому, що вони живуть у симбіозі з кислотоутворюючими бактеріями. Поки кисню не надто багато, вони його поглинають до того як він нанесе шкоду метаногенним археям [19].

Наявність поживних речовин для бактерій

Для стабільності процесу необхідна врівноважене співвідношення поживних макро- та мікроелементів. Після вуглецю більше всього потребується азот. Він потрібен для утворення ензимів, які проводять обмін речовин. Саме тому дуже важливим є співвідношення C/N в використовуваних субстратах. Поряд з вуглецем та азотом важливими поживними компонентами є також сірка з фосфором. Сірка входить до складу багатьох амінокислот, а фосфорні з'єднання для утворення енергії АТФ та НАДФ.[14] Для успішного процесу метанового бродіння для мікроорганізмів потрібна достатня кількість мікроелементів таких як кобальт (Co), нікель (Ni), молібден (Mo) та селен (Se). Ni, Co, Mo слугують кофакторами незамінних реакцій обміну речовин. Окрім того важливими мікроелементами являються магній, залізо та марганець, які необхідні для транспортування електронів і функціонування визначених ферментів [18].

Дотримання рН

Мікроорганізми, які беруть участь в різних етапах процесу, потребують різні значення рН, для оптимального росту. Так, оптимумом для гідролізуючих та окислюючих бактерій являється діапазон рН від 5,2 до 6,3. Але вони не являються жорстко прив'язаними до цього діапазону і можуть перероблювати субстрат при незначних змінах середовища рН. І навпроти, кислотоутворючі та метаногенні бактерії потребують нейтрального значення рН в діапазоні від 6,5 до 8.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір терміну тривалості зброджування і своєчасне завантаження і вивантаження сировини

Добова доза завантаження сировини визначається часом обороту рекатора і збільшується зі збільшенням температури в ньому [15]. Якщо час обороту складає 10 діб, то добова доза завантаження складатиме 1/10 загального обсягу сировини, що завантажується. Якщо час обороту складає 20 діб, то добова доза завантаження складатиме 1/20 загального обсягу сировини, що завантажується. Для установок, що працюють в термофільному режимі, частка завантаження може складати до 1/5 загального обсягу завантаження реактора [17].

Вибір часу зброджування залежить також і від типу сировини, що переробляється. Для таких видів сировини, що переробляється в умовах мезофільного температурного режиму, час, за який виділяється найбільша частина біогазу, дорівнює приблизно:

- рідкий гній ВРХ: 10–15 днів;
- рідкий свинячий гній: 9–12 днів;
- рідкий курячий послід: 10–15 днів;
- гній, змішаний з рослинними відходами: 40–80 днів.

Регулярне перемішування

Головними завданнями перемішування є:

- вивільнення утвореного біогазу;
- перемішування субстрату;
- запобігання утворення кірки та осаду;
- підтримування рівномірної температури всередині реактора;
- рівномірний розподіл популяції бактерій в субстраті;
- запобігання формування порожнеч та скупчень.

Забезпечення достатньої вологості сировини

Безперешкодний обмін речовин в сировині є передумовою для високої активності бактерій. Це можливо тільки в тому випадку, коли в'язкість сировини допускає вільний рух бактерій і газових бульбашок між рідиною і твердими

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовинами, що містяться в ній. У відходах сільськогосподарського виробництва є різні тверді частинки. При вологості 70 % в сировині міститься 30 % сухих речовин. Вологість сировини, що завантажується в реактор, повинна бути не менше 85 % в зимовий час і 92 % в літню пору року. Для досягнення оптимальної вологості сировини гній зазвичай розбавляють гарячою водою [16].

Відсутність інгібіторів процесу

Інгібітори – це речовини, які навіть при малих концентраціях можуть сповільнити процеси реакції, або при токсичних навіть повністю зупинити їх.

Потрібно розрізняти інгібітори, які потрапляють в реактор з субстратом, і ті, які утворюються в якості проміжних речовин на окремих етапах бродіння. При завантаженні реактора потрібно пам'ятати про те, що надмірна подача субстрату також може знизити процес бродіння, тому що любий компонент субстрату в занадто великій концентрації може нанести шкоду бактеріям. Це особливо стосується таких субстанцій як антибіотики, дезінфікуючі розчини або розчинники, гербіциди, солі або важкі метали, які вже в незначних концентраціях можуть сповільнити процес розкладання.

Під час процесу бродіння утворюється ряд речовин, які можуть помітно зменшити швидкість утворення біогазу на різних етапах. Такими речовинами можуть виступати сірководень та амонійний азот, які мають пагубний вплив на життєдіяльність бактерій [10].

Величезна кількість різних методів з виробництва біогазу можна звести до кількох варіантів з точки зору технічних характеристик процесу.

Принципова відмінність в методах роботи біогазових установок полягає:

- в способі подачі;
- за типом змішування ;
- одно- або багатоступенева система;
- по консистенції субстрату .

Серед способів подачі субстрату в реактор розрізняють метод порціонної подачі та проточний метод. За проточним методом працюють майже всі

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сільськогосподарські біогазові установки. Цей метод характеризується постійною подачею свіжого субстрату, при чому рівна йому кількість виштовхується з ферментера, постійним процесом бродіння та виробленням біогазу. Щодо порціонного способу подачі сировини, то для цього способу характерно наповнення бродильної камери за один прийом. Порція проходить бродіння до кінця заданого для цього часу, на протязі якого субстрат не додають і не вилучають. Виробництво газу починається після наповнення, досягає максимальної продуктивності, після чого починає падати. Під кінець, по закінченню заданого часу бродіння бродильна камера опустошається також за один прийом [17].

В сільськогосподарських біогазових установках в більшості використовують метод повного змішування, де субстрат повністю перемішується як в казані. Цей метод є вигідним, оскільки новий матеріал перемішується безпосередньо з вмістом ферментера і процес може починатися одразу після внесення субстрату без використання інокуляту. Також в деяких біогазових установках використовується пробковий метод змішування або метод витиснення субстрату. В таких реакторах субстрат перемішується в поздовжньому напрямку по ферментеру. Завдяки цьому в цих установках вдається досягти високого гігієнізуючого ефекту. Варто відзначити, що дана конструкція є доволі громіздкою [18].

За методами бродіння субстрату розрізняють одно- та багатоступінчастий метод. При використанні одноступінчастого методу, процес проходить у три етапи в одному резервуарі, при системі повного перемішування ці етапи відбувається паралельно, а при періодичному режимі роботи ці процеси відбуваються послідовно. При багатоступінчастому методі різні етапи бродіння намагаються проводити в різних резервуарах, або в різних відділеннях ферментера [19].

При описі умов середовища потрібно розрізняти «мокру» та «суху» ферментацію. Мокра та суха ферментація розділяються по вмісту сухої речовини в реакторі. При наявності сухої речовини в реакторі приблизно в 12% говорить

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

про мокру ферментацію, так як вміст реактора при такому вмісті води ще можна перекачувати насосами. Якщо вміст сухої речовини в ректорі збільшується до 15%, матеріал, як правило, більше перекачувати насосами не можна, і в цьому випадку процес називається сухою ферментацією. Установками по бродінню твердих субстратів є такі установки, в яких субстрат подається в штабельованому вигляді в ферментер, де і проходить процес бродіння без подальшого його переміщення [21]. Просочений бродильною рідиною субстрат перебуває в резервуарі протягом усього часу бродіння і по закінченню процесу в такому ж вигляді без додаткових маніпуляцій (наприклад сепарування) вилучається з ферментатора. Виходячи з цього на практиці зазвичай використовується мокра ферментація [20].

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Сировина та матеріали

В таблиці 3.1 представлені основні вимоги та характеристики для отримання біогазу з відходів свиней.

Таблиця 3.1 Характеристика сировини та матеріалів для отримання біогазу з відходів свиней

Найменування	Категорія та номер НТД, згідно якого перевіряється сировина	Показники, що є обов'язковими для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
Основна сировина			
1.1. Гній свиней	ГОСТ 26074-84	-	Вид біомаси, відповідно підготовленої до зброджування механічним обробленням та іншими способами (підігріванням, внесенням води, бактерій та інших складників), яку безпосередньо подають до біореактора
Допоміжна сировина			
2.1. Вода технічна	ГОСТ 17.1.1.04-80	Температура, запах, завислі речовини, колір, жорсткість, рН	-
2.2 Зброджена маса	ГОСТ 26713-85	-	Перетворений після анаеробного метанового зброджування субстрат відведений з біореактора.
Матеріали			
3.1. Мішки для біодобрива	ГОСТ 23954-80	-	-

					<i>ЕКБ.БЕ6114.ДП</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Литвінець Н.С.			<i>Розділ 3 Технологічна частина</i>		
Конс.		Козар М.Ю.					
Керів.		Козар М.Ю.					
Затверд.					<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ</i>		
						33	57

3.2 Опис технологічного процесу

ДР1. Підготовка обладнання

ДР1.1.Перевірка обладнання на герметичність

Перевірка обладнання на герметичність здійснюється за допомогою нагнітання повітря під надлишковим тиском з метою виявлення порушень герметичності конструкції і придатності до подальшого використання в процесі.

ДР1.2 Підготовка технічного повітря

Проводиться очищення повітря від пилу та інших механічних включень. Спочатку відбувається забір повітря з атмосфери за допомогою труб, в подальшому повітря фільтрується через фільтр попередньої очистки, де очищується від механічних часток. Фільтрувальним матеріалом виступає тканина з максимальним діаметром часток, що затримуються 1,5 мкм, що забезпечує ефективне очищення. Повітря в подальшому подається на стадію ТП4.

ДР 1.3 Миття обладнання

Перед запуском обладнання після ремонту або при впровадженні в експлуатацію необхідно провести миття обладнання. Миття здійснюють розчином лугу 1%, упродовж 10 хвилин при 40°C, з поверненням (рецикл) розчину в збірник нейтралізації. Після чого обладнання ополіскують водою.

ДР2 Підігрів сировини

Підігрів відбувається у збірниках, вмісність яких визначається дозою разової або добової загрузки. Підігрів вихідної сировини до температури бродіння може здійснюватись різними теплоносіями, по типу трубчастих водяних теплообмінників, які є найбільш розповсюдженими. Температура теплоносія в міжтрубному просторі повинна бути не вище 65-70 °C. Біомасу підігрівають до температури бродіння [22].

ТП3 Метанове зброджування

За допомогою насоса-дозатора підігрітий субстрат подається в метантенк з

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

мішалкою відповідно до обраної дози. Зброджування відбувається у термофільному режимі. В реакторі підтримується температура на рівні $52 \pm 5^\circ\text{C}$ та $\text{pH}=6,5-7,5$. Отриманий біогаз направляється на стадію ТП4, а заброджений субстрат на ТП7. Перемішування субстрату в метантенку здійснюється пропелерною мішалкою. У процесі зброджування в газовій порожнині реактора постійно підтримується невисокий надлишковий тиск, що інтенсифікує процес газогенерації, сприяє мікроперемішуванню й боротьбі з кіркоутворенням [8].

Зброджування відбувається в періодичному режимі з використанням декількох метантенків. Вони розташовані таким чином, що поки в одному з них йде зброджування, другий знаходиться під загрузкою, або в стадії розгрузки. У якості додаткового теплоносія може виступати конденсована вода з стадії ТП5.1.

ТП4 Накопичення біогазу в газгольдері

Біогаз, що утворився компресором нагнітається в газгольдер середнього тиску, де біогаз зберігається за тиску 10кПа, після чого подається на стадію очистки ТП5. Відведення біогазу відбувається за допомогою надлишкового тиску в об'ємі газгольдера, для цього туди подається повітря зі стадії ДР.1.2.

ТП5 Збір, очистка та зберігання біогазу

ТП5.1 Видалення вологи

Біогаз, що надходить з газгольдера проходить через систему труб, які знаходяться під землею, на глибині 1 м під визначеним кутом. За рахунок різниці температур, волога конденсується і відводиться у резервуар відферментованого субстрату. Конденсат направляється до стадії ТП3.

ТП5.2 Очистка біогазу від сірководню

Найбільш простим і економічним способом очищення біогазу від сірководню є суха очистка в спеціальному фільтрі за стандартною технологією [25].

ТП5.3. Зберігання у газгольдері

Очищений газ компресором надходить до газгольдера, тиск в якому ста-

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

новить 0.5 МПа, біогаз в газгольдерах зберігається орієнтовно добу.

ТП6 Одержання електроенергії та тепла

Біогаз спалюють у блочній теплоелектростанції. Пара, що утворюється, надходить у теплообмінники реактора підтримуючи температуру субстрату, або на побутові потреби. Електроенергія подається в мережу.

ПВ7 Обробка та зберігання відпрацьованого субстрату

ПВ 7.1 Розділення відферменованого субстрату на фракції

Після метантенку зброджений субстрат подається в збірник, після чого подається у вузол розділення збродженої маси. На виході з сепаратора отримують рідке мінеральне добриво та компост.

ПВ 7.2 Пакування та маркування біодобрива. Мінеральне добриво зі стадії ПВ7.1 пакують в мішки зі складу по 25 кг. Відправляють споживачеві або використовують для власних потреб. Рідке добриво використовують для поливу.

3.3 Контроль виробництва

Для забезпечення відповідності продукції вимогам НТД на підприємствах здійснюється постійний контроль процесів. Розглянемо необхідні параметри контролю виробництва у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Точки та параметри контролю виробництва біогазу

Назва стадії, процесу, місце заміру	Параметр, що контролюється	Частота контролю	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
ДР1.1. Перевірка обладнання на герметичність	Герметичність, надійність	Безперервно, під час кожного запуску	Повна герметичність та відповідність технічним характеристикам	Автоматично	Автоматично, згідно показів датчиків
ДР1.2 Підготовка технічного	Температура, тиск	Постійно	$p=6\text{кПа}$, 20°C - 40°C	K_T	Згідно показів датчиків,

повітря					ТСМ Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 оС. Точність ± 2 оС. Манометр електроконтактний ЭКМ-1 У ДСТУ 2405– 94
ДР 1.3 Миття обладнання	Температура розчину	Вимірюється під час операції	T=40°C	K _T ,	Згідно показників датчиків, ТСМ Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 оС. Точність ± 2 оС.
ДР2 Підігрів сировини	Температура, рівень заповнення збірника, рН	Безперервно	T=45 \pm 5°C, рН=4,5-6	K _T	Згідно показників датчиків, рН-101П Датчик рН з вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14, ТСМ Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 оС. Точність ± 2 оС.
ТПЗ Метанове зброджування	Температура, рН, рівень заповнення збірника	Постійно	рН=6,5-7,5, T=52°C	K _T	рН-101П Датчик рН з вимірювальним перетворювачем.

					Діапазон вимірювання рН – 0 – 14. ТСМ Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 оС. Точність ± 2 оС. Рівнемір СУС-13- ПП-040М- 2 ТУ 25-02- 08-1991-83.
ТП4 Накопичення біогазу в газгольдері	Тиск у газгольдері	Постійно	10кПа	К _т	Манометр електроконтактний ЭКМ-1 У ДСТУ 2405- 94
ТП5 Збір, очистка та зберігання біогазу	Концентрація, тиск, температура води	Постійно	T=10°C, p=1,3МПа, C<0,2г/м ³	К _т , К _х	Манометр електроконтактний ЭКМ-1 У ДСТУ 2405- 94. Газоаналізатор ГАСК4000Е
ТП6 Одержання електроенергії та тепла	Потужність	Постійно	30-35 кВт	К _т	Вольтметр Ватметр лічильник Енергії HiDANCE 3680 W Термометр. Межа вимірювання – 20 - 100 оС. Точність ± 2 оС.,
ПВ7 Обробка та зберігання відпрацьованого субстрату	Маса, вологість, температура	Постійно	T=20°C, вологість не більше 12%	К _т , К _х	Ваги HRPUE 7.1 “Radwag”, Термометр.

3.4 Матеріальний баланс

Матеріальний баланс технологічного процесу наведений в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Матеріальний баланс виробництва біогазу

Ста- дія	Використано				Отримано			
	Назва сировини, матеріалів, напівпродукті в	Кількість			Назва кінцевого продукту чи напівпродукт у, відходів і витрат	Кількість		
		м ³	шт	кг		м ³	шт	кг
ТП 3	Субстрат для зброджуванн я			83630	Неочищений біогаз	213,6 7		256,4
	Вода водопровідна			7726,4	Зброджений залишок			3800
					Рідка фракція відходів			87300
	Всього			91356, 4	Всього			91356, 4
ТП 5	Неочищений біогаз	213,6 7		256,4	Очищений біогаз	124,3		149,16
					Домішки (CO ₂ , O ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂ , H ₂ S)	89,37		107,24
	Всього	213,6 7		256,4	Всього	213,6 7		256,4
ТП 7	Зброджений залишок			3800	Компост			1747

	Рідка фракція відходів			87300	Рідке мінеральне добриво			89353
	Всього			91100	Всього			91100

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

Вихідні данні для розрахунку: загальне поголів'я свиней складає 2500 голів, з них свиноматки складають 100 голів, 500 голів поросят 2-3 місяців, 500 голів свиней 3-4 місяці, 750 голів підсвинок, та 650 свиней на відгодівлі. Свині утримуються без підстилки, спосіб утилізації відходів – гідрозмив.

Розрахунок добового та річного виходу гнойової біомаси

Добовий вихід безпідстилкового гною визначається за формулою:

$$Q_{\Gamma} = (M_{EJ} + BJ) \frac{nJ}{1000}, \quad (4.1)$$

де Q_{Γ} - добовий вихід гною, т, M_{EJ} - добова маса екскрементів від однієї голови, кг (табл.1) [28], BJ – добова кількість води, яка потрапляє в систему гноєвидалення, кг, nJ - поголів'я тварин чи птиці виробничої групи, що одночасно утримується на фермі чи комплексі, гол.

Добова кількість води (BJ), яка потрапляє в систему гноєвидалення, розраховується за формулою:

$$BJ = KM_{EJ} \quad (4.2)$$

де K —коефіцієнт (приймають за табл.2) [23] .

Розраховуємо BJ для кожного виду свиней;

$$BJ_{\text{свиноматки}} = 7 \cdot 6,1 = 42,7$$

$$BJ_{\text{поросята 2 міс.}} = 7 \cdot 3,3 = 23,1$$

$$BJ_{\text{поросята 3–4 міс.}} = 7 \cdot 3,6 = 25,2$$

$$BJ_{\text{підсвинки}} = 7 \cdot 4,2 = 29,4$$

$$BJ_{\text{свині на відгодівлі}} = 7 \cdot 5 = 35$$

Для свиноматок добовий вихід гною становить :

$$Q_{\Gamma 1} = (6,1 + 42,2) \frac{100}{1000} = 4,83 \text{ т}$$

					ЕКБ.БЕ6114.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Литвінець Н.С.			Розділ 4 Вибір і характеристика обладнання	Стадія	Арк.
Конс.		Козар М.Ю.					
						41	57
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

Для свиней віком 2 місяці добовий вихід гною становить:

$$Q_{г2} = (3,3 + 23,1)0,5 = 13,2 \text{ т}$$

Для свиней віком 3-4 місяці добовий вихід гною становить:

$$Q_{г3} = (3,6 + 25,2)0,5 = 14,4 \text{ т}$$

Для підсвинок добовий вихід гною становить:

$$Q_{г4} = (4,2 + 29,4)0,75 = 25,2 \text{ т}$$

Для свиней на відгодівлі добовий вихід гною становить:

$$Q_{г5} = (5 + 35)0,65 = 26 \text{ т}$$

Загальний вихід гною з ферми:

$$Q_{г \text{ доб}} = 4,83 + 13,2 + 14,4 + 25,2 + 26 = 83,63 \text{ т} \quad (4.3)$$

Річний вихід гнойової маси розраховується за формулою:

$$Q_{г \text{ річний}} = Q_{г \text{ доб}} \cdot t = 83,63 \cdot 365 = 30524,95 \text{ т} \quad (4.4)$$

Де: t – кількість діб у році (365).

Параметри біомаси, що впливають на вихід біогазу

Відносна вологість гною за безпідстилкового утримання:

$$W_{г} = \frac{W_E + 100Z}{1 + Z} = \frac{88 + 100 \cdot 7}{1 + 7} = 98,5\% \quad (4.5)$$

де W_E – відносна вологість екскрементів, %;

Z – показник кількості води у системі гноєвидалення, для гідрозмиву $Z=7,0-8,0$.

Вміст сухої речовини визначається розрахунковим методом за формулою:

$$P_{a.c.p., \text{доб.}} = \frac{Q_{г} \cdot (100 - W_{г})}{100} = \frac{83,63 \cdot (100 - 98,5)}{100} = 1,25 \text{ т} \quad (4.6)$$

де: $P_{a.c.p.}$ – вміст абсолютно сухої речовини в гнойовій біомасі, т; $Q_{г}$ – добовий вихід гною з ферми (добовий або річний), т; $W_{г}$ – відносна вологість гною, який виходить з ферми, %.

За рік:

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{a.c.p.,річ} = \frac{30524,95 \cdot (100 - 98,5)}{100} = 457,874 \text{ т}$$

Кількість органічної речовини в гнійній біомасі, яку одержують від тварин за добу та за рік, визначається за формулою:

$$Q_p = P_{a.c.p.} \cdot 0,8, \text{ т (кг)} \quad (4.7)$$

За добу:

$$Q_p = 1,25 \cdot 0,8 = 1 \text{ т}$$

За рік:

$$Q_p = 457,874 \cdot 0,8 = 366,23 \text{ т}$$

Визначення параметрів системи анаеробного зброджування

Добова продуктивність реактора, або його пропускна здатність щодо вихідного гною визначається за кількістю вихідної гнойової біомаси за формулою:

$$G_{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{Г.річн}}}{t_{\text{річн}} - t_3} = \frac{30524,95}{365 - 30} = 91,11 \text{ т/доб} \quad (4.8)$$

де $G_{\text{доб}}$ – добова продуктивність щодо вихідного гною, т/добу;

$Q_{\text{Г.річн}}$ – річна кількість гною на фермі, т;

$t_{\text{річн}}$ – кількість діб у році (365);

t_3 – тривалість випуску й обслуговування реактора (близько 30 діб).

Добовий обсяг завантаження метантенка дорівнює добовому виходу з ферми гною і розраховується за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = \frac{W_{\text{Г}}^2 \cdot Q_{\text{Г.доб}}}{W_{\text{Г}}^1 \cdot q_{\text{Г}}} = \frac{98,5 \cdot 83,62}{92 \cdot 1,04} = 86,1 \text{ м}^3 \quad (4.9)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – добовий обсяг завантаження метантенка, м^3 ;

$W_{\text{Г}}^1$ – відносна вологість гною, який виходить із ферми, %;

$W_{\text{Г}}^2$ – відносна оптимальна вологість гною (88-92%);

$Q_{\text{Г.доб}}$ – добовий вихід гною на фермі;

$q_{\text{Г}}$ – питома вага 1 м^3 гною за певної оптимальної вологості (1 м^3 відповідає 1060 кг гною вологістю 90%).

Об'єм бродильної камери визначається за формулою:

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_K = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot 100}{pq} = \frac{86,1 \cdot 100}{7 \cdot 0,9} = 1366,7 \text{ м}^3 \quad (4.10)$$

де V_K – місткість бродильної камери, м^3 ;

$Q_{\text{доб}}$ – добовий обсяг завантаження метантенка, м^3 ;

p – добова доза завантаження (для мезофільного процесу – 7%);

q – коефіцієнт заповнення камери (0,8-0,95) [23].

Для зброджування приймаємо два метантенка з такими характеристиками (типовий проект №902-2-227) [24] :

- Об'єм – 1000 м^3 ;
- Діаметр – 12,5 м;
- Висота верхнього конуса – 1,9 м;
- Циліндричної частини – 6,5;
- Нижнього конуса – 2,15.

Визначення кількості біогазу та залишкових продуктів.

Добовий та річний вихід біогазу розраховується з урахуванням вмісту в сировині сухої або органічної речовини:

За добу:

$$V_{\Gamma} = \frac{P_{\text{а.с.р.}} \cdot Z}{100 \cdot K \cdot v} = \frac{1,25 \cdot 30}{100 \cdot 1,5 \cdot 0,00117} = 213,67 \text{ м}^3 \quad (4.11)$$

де V_{Γ} – добовий або річний вихід біогазу, м^3 ;

$P_{\text{а.с.р.}}$ – добова або річна кількість сухої речовини, т (кг);

Z – стан розкладання органічної речовини, % (30%);

K – коефіцієнт розчинності біогазу (1,1-1,5);

v – питома вага біогазу (при вмісті за об'ємом 65% метану, 35% вуглекислого газу становить 0,00117 т/ м^3 або 1,17 кг/ м^3).

Обираємо чотири газгольдини з такими показниками (типовий проект №7-07-03/66) [24] :

- Об'єм – 6000 м^3 ;
- Діаметр резервуара – 26900 мм;
- Висота – 24200 мм.

За рік:

$$V_r = \frac{457,874 \cdot 30}{100 \cdot 1,5 \cdot 0,00117} = 78269,06 \text{ м}^3$$

За добу:

$$V_r = P_{a.c.p.} \cdot K \cdot \rho = 1250 \cdot 30 \cdot 0,6 = 22500 \text{ м}^3 \quad (4.12)$$

де V_r – добовий або річний вихід біогазу, м^3 ;

$P_{a.c.p.}$ – добова або річна кількість сухої речовини, кг;

ρ – вихід біогазу з 1 кг органічної речовини (для гною свиней 0,3-0,6 м^3);

K – коефіцієнт зброджування органічної речовини.

За рік:

$$V_r = 457879 \cdot 30 \cdot 0,6 = 8241822 \text{ м}^3$$

Річний вихід твердої фракції визначається за формулою:

$$M_{ш.річн.} = Q_{г.річн.} \cdot \frac{W_q - W_r}{W_q - W_{ш}} = 30524,95 \cdot \frac{99 - 98,5}{99 - 87} = 1271,9 \text{ т} \quad (4.13)$$

де $M_{ш.річн.}$ – річна маса утворюваного шламу, т;

$Q_{г.річн.}$ – річний вихід гною, т;

W_q – вологість рідкої фракції, % (98-99%);

W_r – вологість гною, що завантажується, %;

$W_{ш}$ – вологість шламу, % (87%).

Відносний вихід шламу:

$$M_{ш.річн.} = \frac{M_{ш.річн.} \cdot 100}{Q_{г.річн.}} = \frac{1271,9 \cdot 100}{30524,95} = 4,1 \% \quad (4.14)$$

Добовий вихід шламу:

$$M_{ш.доб} = \frac{M_{ш.річн.}}{335} = \frac{1271,9}{335} = 3,8 \text{ т} \quad (4.15)$$

Рідка фракція містить значну кількість поживних речовин, та може використовуватись як рідке органічне добриво.

Річний вихід рідкої фракції визначається за формулою:

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{q.\text{річн.}} = Q_{г.\text{річн.}} \cdot \frac{W_{\Gamma} - W_{\text{Ш}}}{W_q - W_{\text{Ш}}} = 30524,95 \cdot \frac{98,5 - 87}{99 - 87} = 29253 \text{ т} \quad (4.16)$$

Відносна кількість рідкої фракції:

$$M_{q.\text{річн.}} = \frac{M_{q.\text{річн.}} \cdot 100}{Q_{г.\text{річн.}}} = \frac{29253 \cdot 100}{30524,95} = 95,83\% \quad (4.17)$$

Добовий вихід рідкої фракції (т) визначається за формулою:

$$M_{q.\text{доб}} = \frac{M_{q.\text{річн.}}}{335} = \frac{29253}{335} = 87,3 \text{ т} \quad (4.18)$$

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

Біогаз – це газова суміш, яка складається з метану, двоокису вуглецю, сірководню, а також незначної кількості інших газів [10]. При певних концентраціях біогаз разом з киснем може створювати вибухонебезпечну атмосферу, тому при будівництві та експлуатації біогазових установок потрібно дотримуватись правил безпеки. Крім того, існує інші види небезпек, наприклад, удушення або отруєння, а також небезпеки механічного типу, наприклад защемлення рухомими частинами установки.

Керівник роботи на біогазовій установці повинен визначити і оцінити небезпеки пов'язані з роботою на біогазовій установці, і, в разі необхідності, прийняти необхідні міри. Були розроблені «Правила техніки безпеки для біогазових установок» спеціально для обладнання з виробництва біогазу. Всі біогазові установки підлягають цим нормам техніки безпеки і повинні виконувати закладені в них вимоги. До роботи на біогазових установках повинні допускатись особи, які досягли 18 років, які пройшли медичний огляд та спеціальний інструктаж по техніці безпеки та пожежній охороні [8]. Для обслуговуючого персоналу потрібна постійна періодична перевірка знань по установці та правилам експлуатації, способам попереджень аварій і чіткий порядок дій у разі виникнення неполадок.

Вся територія біогазової установки повинна бути загорожена та мати пропускну систему, для запобігання потрапляння посторонніх лиць на території без супроводжуючого [10].

Куріння та вживання їжі та напоїв повинні здійснюватися тільки у відведених для цього місцях.

Всі робочі міця повинні бути у належному робочому стані. Не допускається захаращення проходів, повинні бути відкриті доступи до засобів

					ЕКБ.БЕ6114.ДП			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5 Охорона праці та довкілля	Стадія	Арк	Аркушів
Розроб.		Літвінець Н.С.						
Конс.		Козар М.Ю.					47	57
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Керів.		Козар М.Ю.						
Затверд								

пожежогашіння, електричних приладів та ін. [10].

В залежності від ймовірності вибуху різні частини установки розділені на так звані «вибухонебезпечні зони», в яких варто впровадити відповідні міри по маркуванню, профілактиці та забезпеченні безпеки. На ділянках зони 0 вибухонебезпечна атмосфера утворюється постійно, особливо при порушенні робочих режимів [10]. Зона 1 описує ділянки, на яких при нормальній експлуатації іноді може утворитись вибухонебезпечна атмосфера. Це ділянки поблизу газгольдерів, повітродувок, приладів для захисту від надлишкового тиску або газових факелів. В цій зоні може використовуватись обладнання і вибухозахищені прибори з відповідною сертифікацією для зони 0 та 1. В закритих приміщеннях варто уникати обумовлених технологій викидів біогазу. В зоні 2 в звичайному режимі неможливе вибухонебезпечне середовище газів. Вибухонебезпечні зони (1 і 2) обов'язково документуються на плані вибухонебезпечних зон. План подається разом з документами з планування будівництва в належні контрольні органи, для видачі дозволу на будівництво. Запірна арматура і газопроводи повинні проходити перевірку на непоширність. Вони повинні бути корозійностійкими до робочого середовища, на практиці зазвичай виготовляються з нержавіючої або оцинкованої сталі, полівінілхлориду та поліетилену (витримує високий тиск).

Крім того, на біогазових установках, вчасності в закритих або заземлених приміщеннях може наставати задуха внаслідок витіснення кисню біогазом. По цій причині в закритих приміщеннях завжди повинна бути достатня вентиляція, а також, при роботах в потенційно небезпечних зонах працівники повинні користуватися особистими засобами захисту, наприклад газовими детекторами, засобами захисту дихальних шляхів. Також при роботах по техобслуговуванню на трубопроводах, насосах і обладнанні продувки потрібно пам'ятати, що вони повинні проводитися на рівні підлоги. Якщо це неможливо потрібна бути передбачена стаціонарна примусова вентиляція, щоб передбачити небезпеку задухи отруєння при можливому витоку газу.

На біогазових установках часто використовуються різні хімікати. Частіше

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

за все вони використовуються у формі солей заліза для хімічного знешкодження сірки, в якості добавки для стабілізації показника рН. Так, як ці вироби, як правило, вирізняються ядовитими та їдкими властивостями, перед їх використанням варто ознайомитися з інформацією про них і обов'язково варто слідувати вказівкам виробника відносно дозування і використання, наприклад використовувати респіратор, та стійкі до впливу кислот рукавиці.

Наряду з описаними вище потенційними видами небезпек існують і інші джерела нещасних випадків, наприклад небезпека падіння з драбин або падіння в отвори для заповнення. Варто забезпечити, щоб падіння було передбачене за допомогою кришок або решіток і достатньо конструктивною висотою (менше 1,8 м) [22]. Крім того рухомі ділянки установки являють собою додаткові ділянки небезпеки, які повинні бути чітко позначені відповідними попереджувальними знаками та табличками.

Окрім небезпек пов'язаних з обладнанням існує небезпека зараження довкілля та працівників патогенною мікрофлорою. В рідких стоках у великій кількості присутні яйця гельмінтів та бактерії групи кишкової палички. Для попередження зараження обслуговуючий персонал повинен:

- споживати їжу тільки у визначених для цього місцях;
- працювати в рукавицях;
- працювати в спецодязі та спеціальному взутті;
- кожного дня прибирати приміщення вологим методом;
- впродовж та після закінчення робочого дня дезінфікувати та ретельно мити руки з милом у теплій воді.

Також на біогазових підприємствах повинна здійснюватись гігієнізація з метою захисту довкілля. Її ціль закладається в тому, щоб дезактивувати можливих наявних у субстрат мікроорганізмів і збудників хвороб з точки зору епідеміології та фітогігієни.

При експлуатації біогазових установок варто дотримуватись різних вимог щодо чистоти повітря. При цьому мова йде, в першу чергу, про вимоги щодо

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

викидів запахів, шкідливих речовин та пилу [10], тобто всі гази, які в подальшому викидаються в атмосферу повинні бути очищені. Також біогазова установка повинна бути побудована таким чином, щоб виключити забруднення водойм, ґрунтів та ґрунтових вод. Крім того, особливу увагу варто наділити переходам між окремими етапами технологічного процесу. Це, в першу чергу, відноситься прийому субстратів, а також передачі залишків бродіння. Потрібно запобігати непередбаченого виходу матеріалів, а також забезпечити збір забрудненої води на цих ділянках [10].

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Наведено характеристику гною свиноферми, його фізико-хімічні властивості. Встановлено, що гнойова біомаса свиней є досить перспективною сировиною для отримання біогазу.

2. Наведено загальну характеристику біологічного агента та біохімічні основи процесу метанового зброджування.

3. Проаналізовано існуючі технології утилізації відходів свиноферми та обрано: одностадійний періодичний процес метанового бродіння в термофільному режимі та мокрому методі зброджування з вологістю субстрату 98,5%. Тривалість зброджування - 10 діб.

4. Розроблено технологічну схему утилізації відходів свиноферми за допомогою метанового зброджування, відповідно якої субстрат, який попередньо підігрівають, зброджують у метантенку. Отриманий біогаз піддається видаленню вологи та очистці від сірководню, за допомогою спеціального фільтру.

5. На основі розрахунків обрано два метантенка об'ємом 1000 м³ та чотири газгольдера об'ємом 6000 м³. Розроблено креслення метантенку та апаратурна схема процесу. Розраховано матеріальний баланс процесу виробництва біогазу.

6. Розглянуто основні заходи з охорони праці та охорони довкілля, яких потрібно дотримуватись на підприємстві з виробництва біогазу та при роботі з біогазовими установками.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Літвінець Н.С.			Висновки	Стадія	Арк.
Конс.		Козар М.Ю.					
						51	52
Керів.		Козар М.Ю.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марцинкевич В. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування / В. Марцинкевич, Н. Коломієць. // Національний екологічний центр України. – 2015. – С. 24.
2. Побігун А. М. Метанове бродіння як спосіб утилізації відходів тваринництва / А. М. Побігун, О. В. Бойко, І. О. Халіман. // Науковий вісник ТДАТУ. – С. 7.
3. Гелетуха Г. Впровадження біогазових установок у сільському господарстві / Г. Гелетуха. – 2000. – С. 27.
4. Марауска М. К. Мікрофлора відходів свинного комплексу і його зміни при термофільній і мезофільній анаеробній ферментації / М. К. Марауска – Москва, 1984. – С. 33–34.
5. Козир В. С. Особливості використання різної сировини при виробництві біогазу / В. С. Козир, В. О. Сокрут. // Інститут сільського господарства степової зони НААН України. – С. 4.
6. Поліщук В. М. Біотехнологічні основи виробництва біогазу / В. М. Поліщук, М. М. Лободко. // видання 1. – 2013. – С. 8.
7. Куценко Ю. М. Аналіз основних чинників анаеробного метанового збродження для отримання біогазу / Ю. М. Куценко, В. М. Коломицев. // ТДАТУ. – С. 7.
8. Козловець О. А. Біотехнологія одержання біогазу при коферментації посліду птахів : дис. канд. техн. наук : 03.00.20 – біотехнологія / О. А. Козловець. – К., 2017. – 189 с.
9. Кучерук П. П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи : дис. канд. техн. наук : 05.14.08 – Перетворювання відновлюваних

					<i>ЕКБ.БЕ6114.ДП</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Літвінець Н.С.</i>			<i>Список використаних джерел</i>	<i>Стадія</i>	<i>Арк.</i>
<i>Конс.</i>		<i>Козар М.Ю.</i>					
							<i>52</i>
<i>Керів.</i>		<i>Козар М.Ю.</i>					<i>57</i>
<i>Затверд.</i>						<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського, ФБТ</i>	

видів енергії / П. П. Кучерук. – К., 2016. – 164 с.

10. Руководство по биогазу: от получения до использования / [А. Томас, Ф. Хартвиг, Д. Гельмут та ін.] // Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). – 2012. – 213 с.

11. Біогазові технології в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf. – Назва з екрана.

12. Биология метанобразующих и метаноокисляющих микроорганизмов / под. ред. Смирнова В. В. – Київ : Наук. думка, 1993. – 255 с.

13. Kwasny J. Disposal methods and treatment of wastes from piggeries [Електронний ресурс] / Justyna Kwasny. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/303974258>.

14. Маменко О. М. Методичне удосконалення практичної підготовки бакалаврів з застосуванням методів і технологій безпечного зберігання та знезаражування гною / О. М. Маменко, С. В. Портяник, В. В. Юрченко. – Харків. – 19 с. – (Харківська державна зооетеринарна академія м. Зарків). – (УДК 504.064.4(072)).

15. Fujinuma I. Problems of Pig Waste Disposal / Ichiro Fujinuma. // National Institute of Animal Industry. – 2012. – С. 4.

16. Воронцов О. О. .Утилізація відходів тваринництва з отриманням біогазу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Воронцов О. О. – Київ. – 17 с.

17. Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення. Практичний посібник/ Під загальною редакцією Тормосова Р.Ю. – К.: ТОВ «Поліграф плюс», 2015. – 208 с.: іл.

18. Курманов А. К. Совершенствование технологии производства биогаза / А. К. Курманов. // Костанайский ГАУ им. А. Байтурсынова. – С. 8.

19. Якушко С. Н. Выбор технологических режимов в установках для производства биогаза / С. Н. Якушко. // Сумский государственный университет. – 2005. – С. 7.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

20. Крайнов Ю. Є. Технологія отримання біогазу з відходів та сировини у сільськогосподарському виробництві / Ю. Є. Крайнов, М. С. Вандишева. // ТДАТУ. – С. 6.
21. Куценко Ю. М. Аналіз основних чинників анаеробного метанового збродження для отримання біогазу / Ю. М. Куценко, В. М. Коломицев. // ТДАТУ. – С. 7.
22. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. В. Семененко // Сумы: ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 347 с.
23. Таргоня В.С. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах: мет. вказ. / В.С.Таргоня, В.В.Оверченко, Б.В. Щербак // К.: НУБПУ, 2013. – 27 с.
24. Самохин В. Н. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / В. Н. Самохин. – Москва: 2-е, 1981. – 321 с. – (Москва Стройиздат). – (Издание 2-е, переработанное и дополненное).
25. Horikawa M. S. Chemical absorption of H₂S for biogas purification / Horikawa, F. Rossi, M. L. Gimenes, C. M. M. Costa, M. G. C. da Silva // Brazilian Journal of Chemical Engineering. – 2004. – V. 21. – № 3. – P. 415–422.

					ЕКБ.БЕ6114.ДП	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТА КВП

Позиція	Позначення, марка	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
361		Повітрозабірник, висота труби 10 м, діаметр труби 300 мм	1		
Ф-2		Фільтр попереднього очищення повітря запиленістю до 5мг/м^3 . Неперервної дії коміркового типу заповнений 12 металічними гофрованими сітками, що змащені маслом. Пилоємність фільтру 200 г/м^2 . Ефективність очистки 75 %. Питома продуктивність $3000\text{ м}^3/\text{м}^2$ год. Гідравлічний опір – 40 Па. Цикл роботи до регенерації – 70 год.	1		
П-3	900-31-2	Компресор повітряний. Продуктивність 970 м^3 повітря /хв. Тиск на виході 0,34 МПа. Потужність електродвигуна 3500 кВт. Температура повітря на виході до 200 °С.	1		
Р4		Реактор для приготування розчину лугу 1%, місткість 5 м^3	1		Неірж. сталь 12Х18Н10 Т

					ЕКБ.БЕ6114.ДП		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Додаток А		
Розроб.	Літвінець Н.С.						
Конс.	Козар М.Ю.						
Керів.	Козар М.Ю.						
Затверд.							
					Стадія	Арк	Акрушів
						55	57
					КПІ ім. Ігоря Сікорського,ФБТ		

365		Збірник нейтралізації	1		Неірж. сталь 12X18H10T
366		Збірник з вбудованим перемішуючим пристроєм, для накопичення та перемішування сировини	1		Неірж. сталь 12X18H10T
367		Збірник являє собою ємність з будованими трубами, по яким подається теплоносій, та вбудованим перемішуючим пристроєм	1		Неірж. сталь 12X18H10T
H7, H9, H10, H21, H20		Насос. Максимальний напір: 10.0 (м), Пропускна здатність: 100.0 (м ³ /год), Напруга мережі: 380 ~ 400 В, Частота струму: 50 (Гц), Потужність (W): 18.8 (кВт), Перекачувані середовища: вода з домішками, каналізаційні речовини, хімічно нейтральні речовини, чиста вода, технічна вода.	3		Збірний
M11, M12		Метантенк з пропелерною мішалкою: об'єм 1000м ³ , ширина 12500 мм, висота 6500 мм.	2		Збірний
PT14		Регулятор тиску	1		
H13, H17		Компресор. Тиск на вході, 0,51,1 МПа Температура газу на вході, -5 + 30 °С Продуктивність, приведена до умов всмоктування, 1,6 м ³ /хв Частота обертання, 16,5	2		Збірний

		1/с			
Г18		Газгольдер. Діапазон робочих температур - - 40+45 ° С; робочий тиск - 1,6 МПа; номінальний об'єм - 6 м ³ ; Місткість – 5,5 м ³ ; 2	4		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Кд15		Конденсатор для видалення вологи	1		Збірний
Фз16		Спеціалізована фільтраційна конструкція, яка складається з адсорбційної колони та фільтруючої частини	1		Збірний
Кг19		Когенераційна установка	1		Збірний
3622		Збірник з вбудованим перемішуючим пристроєм, для накопичення та перемішування збродженої маси	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Ц23		Центрифуга для розділення твердої та рідкої фракції збродженої маси	1		Збірний